

Ruolo della TAC delle coronarie nella diagnostica del paziente rivascolarizzato con stents singoli o multipli

Eugenio Martuscelli

Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Medicina Interna

Riassunto

In Italia vengono effettuate circa 130.000 angioplastiche per anno con impianto di stent.

Migliaia di questi pazienti vengono riestudati con angiografia convenzionale con indicazioni varie:

1) angina tipica; 2) non angina ma presenza di un test provocativo positivo o borderline; 3) nel contesto di trials di valutazione clinica. Tuttavia è esperienza comune che molti di questi esami esitano in stent pervi e senza restenosi significativa con la conclusione di molte coronarografie negative e pertanto "undue". La tomografia assiale computerizzata (coro-CT) è in grado di svolgere un ruolo molto utile nella indicazione 2) e 3) riducendo significativamente il ricorso alla coronarografia convenzionale. Limitazioni attuali alla coro-CT sono l'hardening effect e l'effetto volume parziale. Tuttavia l'ampia disponibilità di scanners di nuova generazione (64 strati o superiori) e l'affinamento degli algoritmi di analisi del vaso hanno elevato l'accuratezza diagnostica della coro-CT proponendola come valido mezzo di diagnostica di rule out della malattia o di indicazione alla coronarografia tradizionale con lo scopo preminente di rivascolarizzazione del vaso stentato. Nella nostra esperienza la sensibilità e la specificità della metodica risultano superiori al 90%. Fattori di esclusione o di riduzione marcata delle prestazioni della metodica sono:

1) aritmie sopraventricolari e ventricolari durante la acquisizione; 2) insufficienza renale con creatinina superiore a 1.7 mg; 3) allergie gravi al mezzo di contrasto; 4) incapacità a trattenere il respiro; 5) gravidanza; 6) una frequenza cardiaca non controllabile con beta bloccante; 7) obesità; 8) non sufficiente esperienza dell'operatore.

Da ultimo il problema delle radiazioni è oggi in gran parte superato dalla disponibilità di nuove metodiche di acquisizione (step and shoot) e di nuovi algoritmi (ASIR) con la possibilità di effettuare un esame di buona qualità con meno di 4-5 mSv.

Conclusioni: esistono oggi i presupposti per un proficuo utilizzo della coro CT nell'ambito del paziente sottoposto ad angioplastica coronarica con impianto di stent.

Summary

In Italy 130.000 patients are revascularized every year by stenting. Thousand of them are investigated by conventional angio with the following indications:

1) typical angina pectoris; 2) typical/borderline stress tests; 3) clinical/angiographic investigation.

However thousand of patients resulted to have a normally working stent (no stenosis/slight stenosis without a significant narrowing) with an "undue" conventional angio.

In this clinical scenario coronary computed tomography (coro-CT) can play a role in the ruling out patients without significant restenosis or in ruling in patients with a significant restenosis with the aim to perform a percutaneous re-vascularization.

Using a 64 slices scanner and comparing the coro-CT with the conventional angio we obtained an high diagnostic accuracy with a sensitivity/specificity > 90%.

The method is contraindicated or performs poorly in the following conditions:

1) supraventricular or ventricular arrhythmias during acquisition; 2) a serum creatinine > 1.7 mg; 3) severe intolerance to the contrast medium; 4) inability to do a breath holding; 5) pregnancy; 6) no sufficient experience of the operator; 7) heart rate not controlled by a beta blocker agent; 8) obesity.

Radiation exposure can be considered a solved problem using the step and shoot acquisition or a more sophisticated algorithms as the ASIR limiting the total exposure to 4-5 mSv.

Conclusions: patients revascularized by stenting can be ruled out by the coro CT with sufficient accuracy using more recent scanners and in case of operators provided with a sufficient experience.

Parole chiave: Coro-CT, Stents coronarici

Key words: Coronary computed tomography, Coronary stents



Introduzione

Nell'anno 2006 sono state effettuate, in Europa Occidentale, circa 1.000.000 di rivascularizzazioni percutanee con impianto di stent (stent PTCA)¹; nello stesso anno le stent PTCA italiane sono state 128.000 circa con un crescendo continuo ma oramai stabilizzato nel tempo (dati GISE). Il controllo del paziente rivascularizzato con stent PTCA è classicamente affidato alla semplice indagine clinica con anamnesi-ECG, oppure all'ECG sotto sforzo/scintigrafia/ecocardiografia da stress. I limiti diagnostici di queste metodiche sono tuttavia ben noti.



Fig. 1 - Doppio stent non medicato su arteria circonflessa, occluso (freccia) nel suo tratto medio (Scanner 64 strati, analisi curved).

La sensibilità dell'ECG da sforzo è del 68% circa mentre la specificità della ecocardiografia da stress e della scintigrafia sono del 70 e 73% rispettivamente, con una non trascurabile possibilità che molti pazienti possano essere classificati erroneamente come liberi da restenosi significativa oppure possano sempre erroneamente essere inviati alla sala di emodinamica al fine di un intervento di ri-revascularizzazione^{2, 3, 4}.

La TAC delle coronarie (coro-CT) possiede la prerogativa di potere visualizzare sia il lume coronarico che la sua parete in maniera non invasiva e con una accuratezza diagnostica superiore al 90% nel caso si

utilizzi uno scanner di ultima generazione e si posseda una adeguata esperienza specifica^{5, 6, 7, 8, 9, 10}. Se tuttavia il lume coronarico è stato oggetto di un impianto di stent metallico, come nella specie in questione, la accuratezza diagnostica della coro-CT risulta ridotta per effetto di due fenomeni fisici quali il blooming effect e l'effetto volume parziale^{10, 11, 12, 13}. Il **blooming effect** è la conseguenza del diverso comportamento del metallo e delle strutture che lo contengono ai fotoni; esso produce un fenomeno di riverberazione delle strutture dello stent; le maglie appaiono più spesse ed abbaglianti e disturbano la lettura del lume. Il blooming effect dipende dallo spessore della maglia e dal tipo di materiale che la

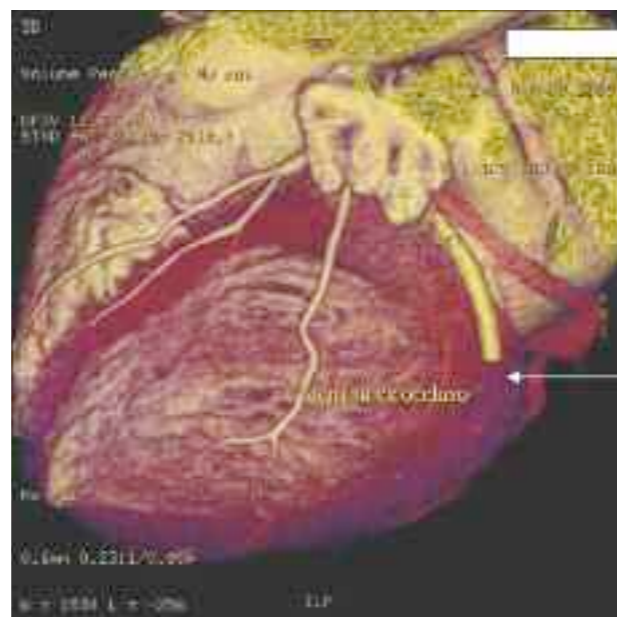


Fig. 2 - Stesso paziente della Fig. 1, analisi volume rendering. La freccia indica l'assenza del vaso a valle dello stent.

compone. In linea generale gli stents più recenti hanno uno spessore di maglia relativamente più sottile, inferiore a 100 microns e questo contribuisce notevolmente ad una attenuazione del fenomeno. Anche alcuni tipi di leghe oggi usate sono in grado di ridurre, rispetto al classico acciaio inossidabile, il fenomeno in questione.

L'**effetto volume parziale** dipende invece dalla risoluzione spaziale della coro-CT. Il voxel, che è la unità minima di elaborazione, non è tridimensionalmente così piccolo da permettere di distinguere strutture a differente densità radiologica. Viene perciò fatta una "media" che non consente di rappre-

sentare con chiarezza lo stent metallico ed il tessuto che lo accoglie con un risultato di "esemplificazione" della complessità della struttura. Altri fattori poi incidono sulla qualità della immagine da analizzare: 1) il diametro dello stent; 2) la posizione nello spazio dello stent; 3) la presenza di calcio parietale; 4) il peso del paziente; 5) la frequenza cardiaca; 6) il ritmo cardiaco; 7) il tipo di scanner disponibile; 8) il tipo di post-processing.

- 1) Relativamente al diametro dello stent è ben noto che stent a diametro maggiore (> 3 mm) risultano meglio interpretabili di stent a diametro piccolo (< 2.5 mm). Tuttavia questo non è più un assioma e con scanners di ultima generazione il problema è divenuto meno evidente e comunque spesso superabile (vedi punto 8).
- 2) Relativamente al secondo punto è noto che lo stenting del tronco comune e del primo tratto della discendente anteriore meglio si prestano alla analisi coro-CT. Lo stenting del tratto medio della coronaria destra e della circonflessa offre maggiori difficoltà di lettura.
- 3) Relativamente al terzo punto, la presenza di calcio vicino alle maglie dello stent peggiora gli effetti di distorsione provocati dal blooming e dall'effetto volume parziale riducendo ulteriormente la visibilità del lume intrastent. Di converso la assenza di calcio facilita la lettura delle immagini.

- 4) Pazienti con peso superiore ai 90 kg impongono di usare valori elevati di milliamperaggio e chilovoltaggio. Tuttavia il rapporto segnale rumore può risultare peggiorato con aumentate difficoltà di lettura.

5) La coro-CT dispone generalmente di una ridotta risoluzione temporale con valori intorno ai 170 msec. Solo scanners con doppio tubo (Dual Source) dispongono di una risoluzione temporale migliore con valori vicino ai 90 msec. Ricordiamo tuttavia che la coro tradizionale è allo stato attuale imbattibile, con una risoluzione temporale di 6-8 msec. Un tale divario giustifica il comportamento della maggior parte degli operatori che si sforzano di acquisire le immagini con una frequenza cardiaca inferiore a 70 b/min. Nel caso il paziente si presentasse con frequenze superiori, è molto utile somministrare per via orale o endovenosa un beta-bloccante; una ridotta frequenza cardiaca, oltre che fornire una maggiore qualità della immagine, consente anche una rilevante riduzione della radioesposizione.

- 6) La ridotta risoluzione temporale di cui al punto 5 rende ragione del perché la qualità delle informazioni della coro-CT sia notevolmente e talvolta irreparabilmente ridotta nel paziente in fibrillazione atriale o anche con molte extrasistoli durante l'acquisizione. Questo è ancora più importante se il paziente è stato sottoposto a stenting coronarico. Di converso, unendo il punto 5 e 6 il

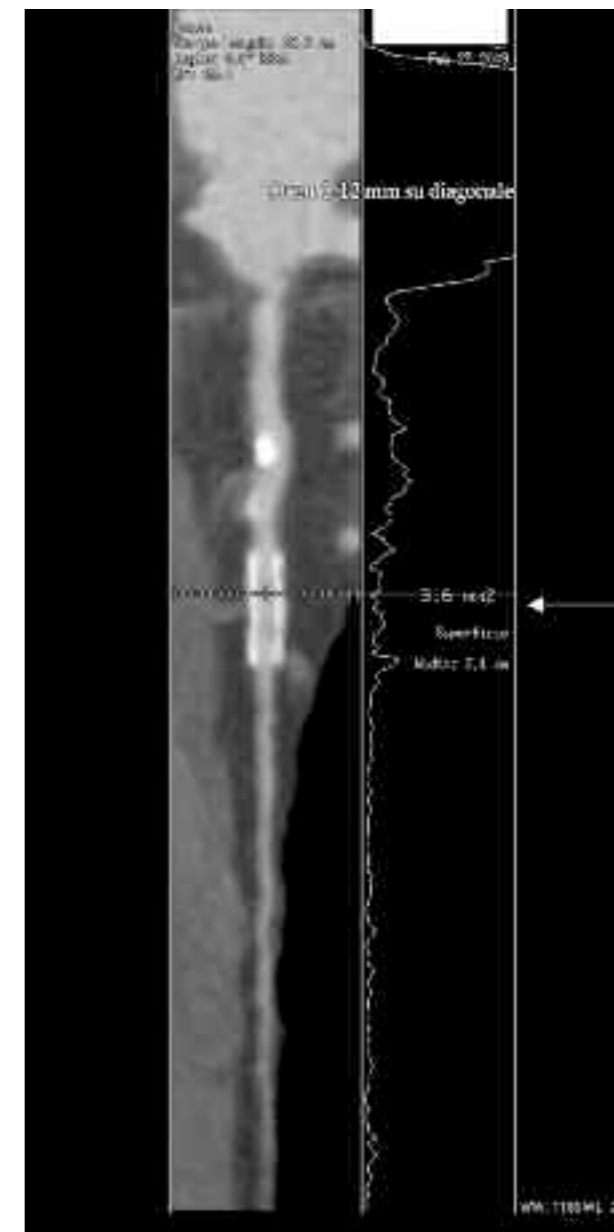


Fig. 3 - Stent non medicato 3-12 mm posto su ramo diagonale, pervio, analizzato con tecnica curved e possibilità di valutare l'area all'interno dello stent (3.6 mm²) (freccia).

paziente ideale è quello in ritmo sinusale stabile e frequenza cardiaca inferiore a 70 b/min durante l'acquisizione.

7) Il tipo di scanner disponibile è da considerarsi oggi una componente inscindibile con la qualità delle immagini ed accuratezza delle informazioni. Gli scanners oggi più utilizzati sono capaci di acquisire 64-128 fette o slices per rotazione con una risoluzione temporale di 170-90 msec.

Il tempo di acquisizione è molto breve, compreso tra 5 e 10 secondi.

Le industrie leader del settore hanno già sviluppato scanners più evoluti, da poco sul mercato o che presto lo saranno: è oggi disponibile uno scanner capace di acquisire 320 slices per rotazione; presto sarà poi disponibile uno scanner 64 strati a doppia energia coassiale capace di una più elevata definizione spaziale e di contrasto.

Quest'ultimo scanner, pur se di "sole" 64 fette si candida perciò come mezzo ideale per meglio definire strutture a differenti densità radiologica quali calcio-stents-elettrocateri ed è molto atteso dalla comunità medica proprio come ulteriore upgrading per i contesti difficili.

Parallelemente alle superiori qualità diagnostiche la ricerca si è sviluppata nel solco di esami alla più bassa possibile radioesposizione. E forse proprio in questo campo si sono conseguiti i risultati migliori. Usando la metodica prospettica (step and shoot) e selezionando bassi chilovoltaggi (100 Kv) per i pazienti di peso 70-80 Kg, è oggi possibile acquisire il data set con una esposizione radiologica di 2-5 mSv; ricordiamo che una acquisizione a 120 Kv e tecnica tradizionale spirale richiede spesso una esposizione di 8-20 mSv¹⁶. La riduzione della radioesposizione non è soltanto una que-

stione di scanner disponibile ma anche e forse più di una cultura della radioesposizione¹⁸; chi effettua una coro-CT è oggi obbligato alla ricerca della ottimizzazione dello scanner nel senso non solo di ottenere una diagnosi di precisione ma anche di ricercarla con la più bassa esposizione possibile.

8) Una volta acquisito il data set è necessario elaborare le immagini utili ai fini diagnostici in una consolle dedicata. Vorrei ricordare che compito del cardiologo/radiologo impegnato nella coro-CT non è quello di fornire l'immagine "più bella" ma di effettuare una diagnosi di precisione, dire in altri termini se le coronarie sono normali o malate; e nel caso fossero malate è necessario specificare il grado di stenosi evitando, se possibile, di catalogare, in maniera pilatesca, la stenosi del 50%: tuttavia è ben noto che la ricerca della informazione di precisione richiede tempo e volontà di incrociare le varie metodiche di post processing, con una verifica continua, faticosa e time consuming dei dati ricavati.

Se si possiede uno scanner di prima generazione (4 strati) non è possibile indagare con sufficiente precisione la coronaria sede di pregresso stenting. Con lo scanner di seconda generazione (16 strati) è possibile valutare la presenza/assenza di restenosi significativa con una sensibilità generale dell'86% ed una buona specificità. Tuttavia la metodica ha dato risultati indeguati per stents di diametro inferiore a 3 mm, con una sensibilità ridotta (54%) ed un numero elevato di casi non interpretabili. Con gli scanners 64 strati i risultati sono risultati di

Accuratezza diagnostica della coro-CT nella diagnosi di restenosi intrastent

Se si possiede uno scanner di prima generazione (4 strati) non è possibile indagare con sufficiente precisione la coronaria sede di pregresso stenting. Con lo scanner di seconda generazione (16 strati) è possibile valutare la presenza/assenza di restenosi significativa con una sensibilità generale dell'86% ed una buona specificità. Tuttavia la metodica ha dato risultati indeguati per stents di diametro inferiore a 3 mm, con una sensibilità ridotta (54%) ed un numero elevato di casi non interpretabili. Con gli scanners 64 strati i risultati sono risultati di

molto superiori, con una sensibilità/specificità superiore al 90%^{11, 12, 13}. Tuttavia la percentuale dei segmenti stentati non interpretabili è riportato essere del 7-12% con una riduzione non trascurabile del potere predittivo positivo della metodica.

In sintesi risulterebbe, dagli studi pubblicati, che la coro CT 64 strati possiede una buona sensibilità/specificità ma un ridotto potere predittivo positivo a causa della sovrastima nel grado di restenosi: in altri termini **una restenosi non significativa può essere erroneamente interpretata come significativa** spingendo ad un uso non giustificato della coronarografia selettiva.

Nella nostra esperienza è possibile correggere questa tendenza alla sovrastima della restenosi utilizzando un percorso diagnostico specifico:

1) **Uso sistematico del betablocco.** È dimostrato che gli artefatti indotti dallo stent possono ridursi se la frequenza cardiaca è controllata (inferiore a 65 b/min). Il paziente già in terapia beta bloccante può aumentare il dosaggio nel giorno dell'esame. Il paziente non beta-bloccato può assumere, ad esempio 20 mg di propranololo 90 minuti prima dell'esame.

2) **Uso sistematico del kernel,** che è un algoritmo di ricostruzione capace di modificare la risoluzione spaziale dello scanner. Nel caso di un effetto blooming accentuato è possibile selezionare una risoluzione spaziale superiore che consenta di distinguere maggiormente le maglie metalliche dello stent dal lume coronarico.

3) **Ricostruzione semiautomatica del lume** tracciando manualmente il centro dello stent stesso. Utilizzando sistematicamente questi accorgimenti è possibile ridurre, nella nostra esperienza (dati non ancora pubblicati) significativamente il numero di falsi positivi con un valore predittivo positivo vicino al 90% (Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Limiti della metodica

La valutazione con coro-CT di pazienti rivascolarizzati con stent non è applicabile o è applicabile con risultati inferiori nei seguenti casi:

- 1) pazienti in fibrillazione atriale;
- 2) pazienti con extrasistole multiple durante la acquisizione;
- 3) nei pazienti con insufficienza renale (creatinina > 1.7-2 mg/ml);
- 4) nei pazienti con storia di grave intolleranza al mezzo di contrasto iodato;
- 5) nei pazienti incapaci di collaborare negli atti respiratori come da istruzione (apnea della durata di 8-10 sec);

6) nei pazienti con FC superiore a 85b/min nonostante il beta-blocco (tranne che non si disponga di uno scanner dual source, per il quale i margini di tolleranza sono aumentati);

7) quando il segmento stentato è sede di grave calcificazione parietale.

Indicazioni alla coro-CT

Nei pazienti con storia di stenting coronarico la coro-CT **non appare indicata** quando esista una **cl-**

nica con forte sospetto di trombosi acuta/subacuta dello stent e neppure quando esista una documentazione evidente di ischemia: in questo campo tecnica di elezione rimane la coronarografia tradizionale che sola oggi consente di effettuare prontamente la rivascolarizzazione.

Neppure appare indicata la coro-CT nel paziente asintomatico e senza segni strumentali di ischemia al solo scopo di effettuare un "controllo" preventivo dello stent. Forse unica eccezione è lo stenting del tronco comune in considerazione della criticità della sede dello stenting: una verifica a medio termine della espansione del device e della integrità del lume intrastent potrebbero essere di conforto al pa-

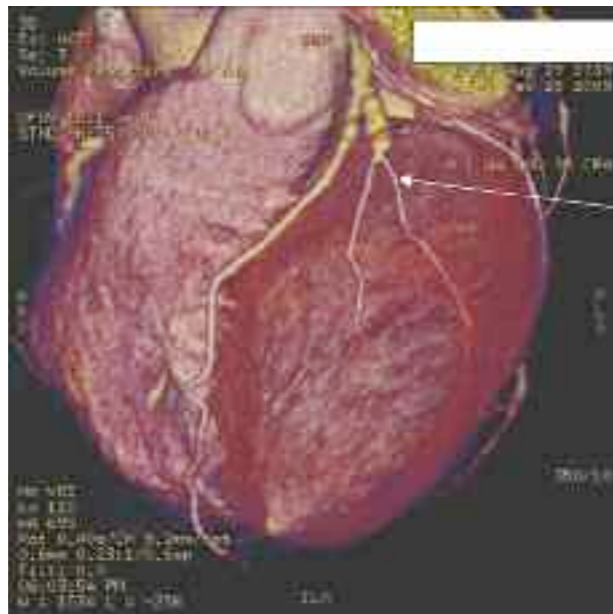


Fig. 4 - Stesso paziente della Fig. 3 analizzato in volume rendering. La freccia mostra la posizione dello stent (ramo diagonale) e la rivascolarizzazione del vaso stentato.



Fig. 5 - Stent medicato su circonflessa, analizzato con tecnica curved. Lo stent è pervio, senza restenosi di rilievo.

ziente e pure al cardiologo che ha in cura il paziente. Al di fuori di queste categorie la coro-CT può essere utile nel paziente con sintomi e segni dubbi al fine di evitare una coronarografia "di sicurezza" rivelatasi poi inutile. È difficile quantizzare il numero potenziale di candidati appartenenti a questa categoria di segni/tests dubbi: la platea di pazienti è però verosimilmente elevata se si considera che ogni anno in Italia si effettuano più di 100.000 rivascolarizzazioni percutanee con utilizzo di stents (dati GISE).

Il problema delle radiazioni

In linea generale l'aumento degli strati per rotazione ha fino ad ora generato un aumento della esposizione radiologica con picchi fino a 20-30 mSv^{14, 15, 16}; quanto questo si traduca in un consistente aumento del rischio di tumori non è dato sapere con certezza, visto che non si dispone di alcuno studio prospettico ad hoc. Le informazioni oggi circolanti sono derivate da calcoli statistici basati sui sopravvissuti alle bombe atomiche con la conseguenza di molto catastrofismo e poca evidenza scientifica. Uno studio prospettico randomizzato richiederebbe probabilmente milioni di pazienti da arruolare al fine di osservare nel lungo termine una differenza statisticamente significativa in termini di comparsa di tumori; e sarebbe comunque di difficile attuazione vista la richiesta elevata di esami radiologici non cardiologici non eludibili e la difficoltà ad includere la esposizione naturale da gas Radon, molto eterogenea tra i diversi paesi e per la tipologia di fabbricato.

Comunque è da salutare con entusiasmo una marcata recente inversione di tendenza: gli ultimi scanners consentono di potere effettuare esami a bassa dose (1-5 mSv)^{17, 18} per via di tre accorgimenti:

- 1) acquisizione prospettica, invece che retrospettiva, con il tubo radiogeno che funziona solo nella fase diastolica;
- 2) nuovi algoritmi di acquisizione che migliorano il rapporto segnale/rumore e consentono, a parità di qualità della immagine, di ridurre la dose;
- 3) una aumentata attenzione dell'operatore volta al pieno utilizzo di tutti i dispositivi disponibili con gli scanners di ultima generazione. Questa "svolta" tecnologica e culturale costituisce una condizione essenziale per una utilizzazione più ampia della coro-CT; una dose di 1-5 mSv, oggi alla portata della tecnologia corrente, potrebbe essere considerata un prezzo trascurabile al fine di una valutazione di precisione del circolo coronarico.

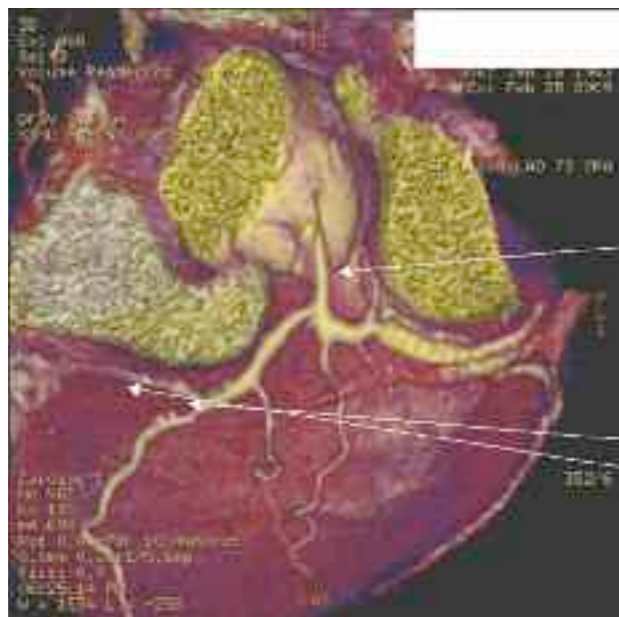


Fig. 6 - Stesso paziente della Fig. 5. Lo stent è posto sulla circonflessa. Si osserva la patologia calcifica del tronco comune, non critica (freccia) e la sub-occlusione della discendente anteriore subito dopo il secondo diagonale (doppia freccia).

Cosa ci riserva il futuro prossimo

Le grandi Ditte produttrici cercano incessantemente di migliorare i limiti tecnologici attuali. Relativamente alla bassa risoluzione temporale una ditta (Siemens) ha seguito la strada della doppia sorgente con due tubi posti a 90° l'uno con l'altro. La risoluzione temporale risulta migliorata sensibilmente con valori inferiori a 100 msec ma sempre molto lontani dalla risoluzione

temporale della coronarografia selettiva (6-8 msec). Da questo punto di vista un ulteriore sensibile miglioramento appare di difficile attuazione nei tempi brevi.

Relativamente alla risoluzione spaziale e di contrasto è verosimile che il prossimo futuro possa riservarci invece sensibili miglioramenti. È oramai in produzione uno scanner (GE) con nuovi detettori ed una doppia sorgente di radiazioni coassiale, capace, sulla carta, di ridurre gli artefatti generati dal calcio e dal metallo (stents, elettrocateri).

Oltre questo sarà presto possibile effettuare un imaging di tipo spettrale sopprimendo selettiva-

mente il tipo di substrato: si potrà in altri termini selezionare selettivamente il calcio o il metallo (stents), o l'acqua o altro con un potenziale effetto di avvicinamento alle prerogative della Risonanza Magnetica aprendo nuovi e stimolanti orizzonti alla metodica.

Conclusioni

La evoluzione tecnologica procede, nel campo degli scanners e degli algoritmi di ricostruzione, ad una velocità veramente elevata: questo è giustificato dalla fede delle grandi Ditte nel ritorno economico ai propri forti investimenti, ma questo tipo di fede

scaturisce anche dal gradimento di Medici e Pazienti verso questa tecnica "facile, veloce, poco invasiva", che non disturba più di tanto l'uomo moderno nel suo quotidiano. Ricordiamo però che la interpretazione dell'esame rimane ancora operatore-dipendente, nel senso che il back ground cardiologico dell'esaminatore, il suo iter formativo, la sua voglia di "prenderci il tempo necessario" possono essere egualmente decisivi come lo scanner per una diagnosi di recisione.

Da ultimo ma non ultimo rimane l'impegno a sfruttare tutte le risorse dello scanner (e non sono poche) per un esame alla più bassa esposizione possibile: ma anche questo è un derivato delle conoscenze dell'esaminatore e della sua voglia di applicarle.

Bibliografia

1. For Europe MRG data plus internal data (Millennium research Group), Toronto, Canada.
2. For USA USMO data plus internal data Abbott Vascular Northern California USA.
3. Chaitman BR. Exercise stress testing chapter 8 pag 164 in Braunwald's Heart Disease. Elsevier Saunders 2005.
4. Luotolahti M, Saraste M, Hartiala J. Exercise echocardiography in the diagnosis of Coronary artery disease. *Ann M* 1996; 28: 73.
5. Klocke FJ, Baird MJ, Lorell BH, et al. American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American Society for Nuclear Cardiology. ACC/AHA/ASNC Guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging. *Circulation* 2003; 108: 1404-18.
6. Nicolau K, Knez A, Rist C, et al. Accuracy of 64 -MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease. *AJR* 2006; 187: 111-7.
7. Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, et al. High resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic coronary angiography. *Circulation* 2005; 112: 2318-23.
8. Fine JJ, Hopkins CB, Ruff N, Newton FC. Comparison of accuracy of 64-slice cardiovascular computed tomography with coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2006; 97: 173-4.
9. Leschka S, Alkadhi H, Plass A, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice spiral computed tomography. *Eur Heart J* 2005; 26: 1482-7.
10. Leber AW, Knez A, von Ziegler F, et al. Quantification of obstructive and non obstructive coronary lesions by 64 slice computed tomography. A comparative study with Quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 147-54.
11. Chowdhury H Ahsan, D Bush, T Kondo, M Poon. Follow up of patients after percutaneous coronary intervention, chapter 6 pag 85 in Atlas of Cardiovascular Computed Tomography. M Budoff, S Achenbach, J Narula Editors. Springer 2007.
12. Carrabba N, Baboshmoosh M, Antoniucci D, et al. Usefulness of 64 slice multidetector computed tomography for detection of drug eluting in stent restenosis. *Am J Cardiol* 2007; 100: 1745-8.
13. Suzuki S, Furui S, Kaminaga S, et al. Evaluation of coronary stents in vitro with CT angiography: effect of stent diameter. Convolution kernel and vessel orientation to the z axis. *Circ J* 2005; 69: 1124-3.
14. Cademartiri F, Schuijff JD, Pugliese F, et al. Usefulness of 64 slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 2204-10.
15. Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice. *Circulation* 2006; 113: 1305-10.
16. Earls J, Urban B, Berman E, et al. Prospective gated coronary CT angiography: an evaluation of effective dose and reliability in a large patient group. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2007; 1: S 6.
17. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography (PROTECTION 1). *JAMA* 2009; 301: 500-507.
18. Sablayrolles JL, Treutenaere JM, Feignoux J, Jardin C. Latest clinical breakthrough in cardiac CT: drastic dose reduction with SnapShot Pulse Mode on Light Speed VCT XT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2007; 1: S 7.
19. Einstein A. Radiation protection of patients undergoing cardiac computed tomography. *JAMA* 2009; 501: 545-7.